

# Redes de vigilancia de parámetros meteorológicos

Manuel Lambás Señas

Jefe del Área de Redes y Sistemas de Observación del INM

Para obtener una adecuada vigilancia de los fenómenos meteorológicos, es necesario contar con una serie de sistemas que controlen los distintos parámetros. Dentro de estos sistemas de control, se encuentran las estaciones meteorológicas automáticas, y las técnicas de teledetección o medida a distancia: satélites meteorológicos y detección de rayos. El autor, en el artículo, hace una breve descripción de cada uno de ellos.

La observación meteorológica es la actividad dirigida a la obtención de datos sobre las distintas variables físicas que describen el estado de la atmósfera en un instante determinado. Estas observaciones son los datos de partida para:

- La confección de análisis de las diferentes variables meteorológicas y la predicción de su evolución utilizando modelos numéricos de predicción del tiempo.
- La diagnosis del estado de la atmósfera y la predicción de su evolución a muy corto plazo utilizando modelos conceptuales y técnicas de extrapolación.
- La realización de estudios encaminados al conocimiento del clima.

Para el estudio de la atmósfera y para la predicción de la evolución de su estado, se precisa conocer datos de observación globales, aunque solamente nos ocupe una zona geográfica concreta. Así, por ejemplo,

para realizar predicciones a medio plazo basadas en modelos numéricos, es necesario alimentar los modelos de predicción numérica del tiempo con observaciones que den cuenta del estado de la atmósfera en su globalidad.

*"La observación meteorológica es la actividad dirigida a la obtención de datos sobre las distintas variables físicas que describen el estado de la atmósfera en un instante determinado".*

Por otra parte, el problema de la vigilancia y predicción a muy corto plazo de fenómenos meteorológicos violentos, con ciclo de vida relativamente corto y escala espacial reducida, tales como sistemas convectivos responsables de lluvias torrenciales, tornados, etc., no se puede abordar si no se cuenta con sistemas de observación que proporcionen datos

muy frecuentes a escalas espacial y temporal. Estos requisitos sólo se pueden satisfacer con sistemas de observación automática, capaces de obtener y transmitir los datos de observación en tiempo real, sin contar con la intervención humana.

Las medidas de los parámetros meteorológicos, tales como temperatura, humedad, presión, viento, etc., se obtienen normalmente colocando el instrumento o equipo de observación en el lugar en que queremos medirlos. Este tipo de medidas se denominan "in situ". Los instrumentos o sensores pueden ir transportados en un avión o en un globo-sonda, si se quieren obtener medidas de la estructura vertical de la atmósfera.

Sin embargo, para alcanzar los requerimientos de resolución espacial y temporal y la cobertura geográfica indispensables para satisfacer las necesidades de observación que plantea la meteorología, no es suficiente contar con redes de observación basadas en este tipo de instrumentación. Hay que tener en cuenta que las tres cuartas partes del planeta corresponden a océanos y mares y que la mayor parte de las tierras emergidas están despobladas, así como el considerable costo econó-

mico que supondría la instalación y mantenimiento en operación de sistemas de observación basados en medidas "in situ". Por ello ha sido necesario potenciar la utilización de técnicas de teledetección o de medida a distancia.

En base a su interés para la vigilancia de parámetros meteorológicos, describiremos a continuación las estaciones meteorológicas automáticas, como componentes de redes de observación meteorológica "in situ" y los satélites, radares meteorológicos y detectores de rayos, como componentes de redes de teledetección.

## Estaciones meteorológicas automáticas.

En los últimos años, con la utilización de instrumentación electrónica y el progreso de la microinformática y de las comunicaciones, se han desarrollado estaciones capaces de obtener, almacenar y transmitir a distancia, datos relativos a la mayoría de las variables meteorológicas sin el concurso de la intervención humana. Estas estaciones se conocen como estaciones meteorológicas automáticas y se utilizan para:

- Incrementar la densidad espacial de una red existente proporcionando datos de lugares despoblados o de difícil acceso.
- Completar las observaciones de las estaciones convencionales, con datos obtenidos fuera de las horas de trabajo del personal.
- Incrementar la calidad del dato con la utilización de sensores de nueva tecnología.
- Reducir errores humanos.
- Reducir los costes operacionales, mediante la reducción del núme-

ro de observadores de la estación.

En general, una estación meteorológica automática consiste en:

- Sensores instalados en el exterior, de acuerdo con las normas existentes para la exposición de sensores meteorológicos, conectados al sistema central de proceso mediante cables aislados, fibra óptica o enlaces radio.
- Un sistema central de proceso para la adquisición y conversión de datos y su adecuado tratamiento mediante algoritmos específicos, al-



Radar meteorológico

macenamiento temporal de los datos procesados y transmisión de la información meteorológica a usuarios remotos.

- Equipos periféricos, tales como fuentes de alimentación eléctrica, reloj en tiempo real, equipo de test para monitorización de las distintas partes de la estación y, en algunos casos, terminales para entrada y edición manual de los datos, dispositivos de visualización e impresoras o registradores.

Las estaciones meteorológicas automáticas se utilizan para satisfacer distintas necesidades de observación, por lo que pueden clasificarse en distintos grupos funcionales, aunque, en general, se clasifican en dos grandes grupos atendiendo a la forma en que se utilizan los datos de observación:

- Estaciones en tiempo real, que suministran los datos a los usuarios en tiempo real a horas programadas, pero también en condiciones de alarma o de petición externa. Los datos suministrados por estas estaciones se utilizan para el análisis del estado de la atmósfera y para la vigilancia de episodios meteorológicos violentos tales como tormentas, precipitaciones y vientos intensos, etc.

- Estaciones sin línea, que registran los datos de observación en el mismo emplazamiento de la estación en dispositivos de almacenamiento para su utilización posterior. Estas son las típicas estaciones climatológicas.

Ambos tipos de estaciones realizan automáticamente medidas de viento, temperatura y humedad del aire, precipitación y presión atmosférica y pueden dotarse de medios adicionales para la introducción o edición de observaciones visuales, que todavía no están completamente automatizadas, tales como el tiempo presente o pasado o las observaciones cuya automatización representaría un coste muy elevado, tales como la visibilidad o la altura de nubes.

En general, las estaciones meteorológicas automáticas forman parte de una red, transmitiendo las observaciones realizadas a un sistema de concentración, encargado del control y explotación de los datos obtenidos.

El Instituto Nacional de Meteorología cuenta con una red de 240 estaciones, distribuidas por toda la geografía nacional, que realizan observaciones de viento, temperatura y humedad del aire y precipitación a intervalos de 10 minutos. Estos datos se transmiten por la red telefónica conmutada a quince concentradores regionales y a un concentrador nacional, que están encargados del almacenamiento y explotación meteorológica de los datos obtenidos, así como del transvase a los sistemas de vigilancia operativos.

Además, en la actualidad se está procediendo a la instalación de sistemas de observación automáticos en 45 Observatorios de la red sinóptica de superficie, con capacidad para introducir datos adicionales por parte del personal observador.



Estación automática

### Satélites meteorológicos

Los satélites meteorológicos constituyen el subsistema espacial del sistema mundial de observación, y su principal objetivo es completar la información facilitada por el subsistema terrestre de una forma económicamente viable. Actualmente

se clasifican en dos grupos, de acuerdo a las características de su órbita: polares y geoestacionarios.

Los satélites polares orbitan a una altitud aproximada a los 850 km pasando cerca de los polos. Debido al tiempo empleado en completar una órbita y a la rotación de la Tierra, cada órbita cruza el Ecuador unos 25° de longitud más al Oeste que la anterior, por lo que este tipo de satélites pueden observar la totalidad de la Tierra cada 12 horas, proporcionando una cobertura global y relativamente detallada.

Los satélites geoestacionarios están situados a una altitud aproximada de 36000 km y su órbita está contenida en el plano ecuatorial. Su periodo orbital coincide con el de rotación de la Tierra, de forma que permanecen prácticamente inmóviles con respecto a ella. Estos satélites proporcionan información frecuente de su zona de cobertura por lo que son esenciales para la vigilancia y predicción a muy corto plazo.

Los dos tipos de satélites son complementarios. Los geoestacionarios proporcionan medidas y una vigilancia prácticamente continua en las zonas tropicales y templadas y los polares proporcionan cobertura global con mayor detalle y precisión, aunque con menor resolución temporal.

El sistema teórico de satélites meteorológicos está formado por dos satélites de órbita polar y cinco de órbita geoestacionaria posicionados en las longitudes 0°, 75°W, 135°W, 140°E y 75°E. Por su importancia para la meteorología española, se describen en resumen los programas METEOSAT y TIROS-N.

El programa METEOSAT es responsabilidad del organismo europeo EUMETSAT desde 1986. Actualmente se encuentra operativo el METEOSAT-7, que fue lanzado el 2 de septiembre de 1997.

La misión principal del METEOSAT es la toma de imágenes en tres

bandas o canales del espectro radioeléctrico (visible, infrarrojo y vapor de agua). El instrumento encargado de esta misión es un radiómetro de exploración por barrido, que es típico de los satélites meteorológicos geoestacionarios estabilizados por rotación.

Cada 30 minutos el radiómetro proporciona información actualizada sobre la porción de globo terrestre accesible desde su posición (un disco de 65° centrado en la intersección del Ecuador con el meridiano 0°). Esta información se transmite a tierra donde es procesada en el Centro de Operaciones y difundida a los usuarios a través del propio satélite por medio de dos emisiones: la emisión digital, adecuada para una utilización cuantitativa de la información, y la emisión analógica, adecuada únicamente para su uso cualitativo.

Las imágenes se utilizan directamente para la vigilancia y predicción a muy corto plazo, ya que al disponer de información actualizada cada 30 minutos, es posible vigilar la evolución de las formaciones nubosas. Además, estas imágenes son objeto de posterior proceso para la obtención de productos que proporcionen información cuantitativa, como, por ejemplo, los vectores de viento calculados a partir del desplazamiento de los elementos nubosos en imágenes sucesivas.

En el próximo año 2002, está previsto el lanzamiento de un nuevo satélite METEOSAT de Segunda Generación (Programa MSG). Estos nuevos satélites incluyen importantes mejoras con respecto a la generación operativa actualmente, entre las que se encuentra un nuevo radiómetro que producirá imágenes cada 15 minutos en lugar de los 30 actuales, y en doce canales del espectro electromagnético, en lugar de los tres actuales. Estas mejoras serán de inapreciable ayuda para la vigilancia y predicción de fenómenos tales como tormentas, nieblas y

desarrollos de pequeñas, pero violentas depresiones.

El programa TIROS-N es responsabilidad del organismo NOAA de Estados Unidos y consta en la actualidad de dos satélites polares, con planos orbitales perpendiculares entre sí, de forma que cada seis horas uno de estos satélites repite la observación en una zona determinada de la Tierra. La desventaja de la escasa resolución temporal de estos satélites, en comparación con los geoestacionarios, se compensa por otras ventajas, tales como:

- Proporcionar una cobertura geográfica global, ya que las zonas polares no pueden ser observadas con los satélites geoestacionarios.

- Generar información de mayor calidad radiométrica y una mayor resolución espacial, al estar su órbita situada relativamente cerca de la superficie terrestre.

Desde el punto de vista de la observación estos satélites tienen dos misiones: la toma de imágenes en tres bandas infrarrojas y dos visibles del espectro electromagnético, llevada a cabo por el radiómetro y la de obtener medidas de temperatura y humedad en capas atmosféricas a distinta altitud, misión de sondeo atmosférico llevada a cabo por instrumentos agrupados mediante el acrónimo ATOVS. Esta misión permite obtener información de la distribución vertical de la temperatura y humedad en la atmósfera con una resolución espacial horizontal de unos 100 km y una resolución temporal de 6 horas con los dos satélites, aunque los datos obtenidos no alcanzan la calidad de los sondeos termodinámicos realizados con sistemas de observación "in situ" efectuados con radiosondas transportados en globos.

El Instituto Nacional de Meteorología dispone de una estación de recepción principal en la sede central, con antenas para recibir las señales de los satélites geoestacionarios METEOSAT y GOES y los polares de

NOAA, a la que está asociado un potente sistema informático de proceso de las imágenes que está conectado con los centros regionales que tienen responsabilidades de predicción y vigilancia.

Si los satélites meteorológicos permiten cubrir de forma prácticamente continua grandes extensiones atmosféricas y proporcionan información sobre la zona superior y estructura externa de las formaciones nubosas, los radares meteorológicos son el complemento adecuado para la vigilancia por su capacidad de proporcionar información sobre la estructura interna y distribución de la precipitación en el interior de las nubes.

*"El INM cuenta con una red de 240 estaciones, distribuidas por toda la geografía nacional, que realizan observaciones de viento, temperatura y humedad del aire y precipitación a intervalos de 10 minutos".*

### Radares meteorológicos

Las observaciones efectuadas por los radares meteorológicos son fundamentales para la detección y predicción de la evolución de fenómenos meteorológicos violentos, así como para la obtención de información cuantitativa de variables meteorológicas de gran interés, tales como la precipitación y el viento, a través de las actuales técnicas de proceso.

El fundamento de la operación del radar meteorológico es el siguiente:

- El equipo genera frecuentes pulsos de energía en el rango de las radiofrecuencias del espectro electromagnético.

- Esta energía es concentrada en un haz muy estrecho por medio de una antena rotatoria, que va enfocando a distintas radiales y distintas elevaciones. De este modo el radar realiza una exploración volumétrica completa de todos sus alrededores,

tanto en la horizontal como en la vertical.

- La energía radiada interactúa con el medio atmosférico, las nubes y la precipitación, siendo retrodispersada de nuevo hacia la antena en forma de eco. La energía devuelta depende del tipo y tamaño de las partículas que componen la nube, siendo apreciable para el caso de existencia de gotas o elementos de precipitación.

- De la posición en azimuth y elevación de la antena en el momento de recibir el eco, así como del tiempo transcurrido entre la emisión del pulso y la recepción del eco, el equipo radar deduce la localización en el espacio de las zonas de precipitación, así como una estimación de la intensidad de precipitación en función de la intensidad del eco devuelto.

El proceso completo de observación se realiza en un corto periodo de tiempo, por lo que los productos radar pueden ser explotados en tiempo real, con imágenes resultantes a intervalos de 10 minutos.

Los productos típicos proporcionados por un radar son:

- Cortes horizontales, que informan de la distribución e intensidad de la precipitación a distintas alturas.

- Imágenes integradas que sintetizan la información contenida en el conjunto de cortes horizontales, tales como los "echotop" o altura máxima de los ecos de precipitación, la imagen con los máximos de precipitación y la imagen que representa la altura a la que se encuentran dichos máximos.

- Si los equipos radar están dotados de capacidad doppler, se puede medir además de la intensidad de los ecos, su velocidad de desplazamiento, lo que permite obtener información acerca de la turbulencia.

- Imágenes de estimación de la precipitación acumulada en periodos de tiempo establecidos, basados en el cálculo de acumulaciones horarias.



- Imágenes de extrapolación, que dan idea del probable desplazamiento de los ecos de precipitación, calculado a partir del movimiento observado en imágenes consecutivas previas.

Los radares meteorológicos suelen estar agrupados en redes, de forma que pueden obtenerse productos de composición con algunos de los productos obtenidos en los radares individuales. De este modo se pueden obtener mosaicos que pueden dar información sobre la precipitación que se está produciendo en una zona extensa, tal como una nación.

El Instituto Nacional de Meteorología cuenta con una red de catorce radares distribuidos adecuadamente para obtener una cobertura nacional. Los equipos radar están instalados en lugares elevados con respecto a sus alrededores, de modo que la cobertura espacial no resulte muy disminuida por apantallamientos debidos a nuestra compleja orografía. Los datos de observación obtenidos en el radar, se transmiten por radioenlaces de microondas hasta los sistemas de control y proceso de la información ubicados en los Centros Meteorológicos Territoriales.

Las características fundamentales de esta red, que la hacen estar entre las más avanzadas a nivel mundial son:

- equipos dotados de capacidad doppler,
- elevado grado de automatismo y capacidad de control sobre el equipo radar que opera en un lugar remoto,
- generación de mosaicos nacionales con la información radar y productos derivados generados en cada uno de los sistemas regionales.

Cada 10 minutos los radares realizan dos exploraciones completas: una en modo normal, que da información de los ecos producidos en un radio de 240 km; y otra en modo doppler con un alcance reducido a

un radio de 120 km, que proporciona información adicional relativa al desplazamiento de los ecos y la turbulencia.

#### Detección de rayos

En una nube típica de tormenta, se produce una separación de cargas eléctricas, quedando cargada positivamente la parte superior de la nube y negativamente su parte inferior. Esta separación de cargas da lugar a la existencia de fuertes campos eléctricos en el interior de la nube y entre la base de la nube y el suelo, que se carga por influencia. Cuando el campo eléctrico creado es lo suficientemente intenso, se produce la descarga, bien entre dos partes de la misma nube o entre la nube y el suelo. Aunque la forma más frecuente de descarga eléctrica es la que se produce en el interior de la nube, es la descarga entre la nube y la superficie terrestre, conocida por rayo, la que tiene gran importancia a efectos de vigilancia, dado los efectos que puede producir.

El proceso típico de descarga en rayo transfiere carga negativa desde la base de la nube a la superficie terrestre (rayo de polaridad negativa) y está compuesto de uno a tres pulsos o subdescargas con una intensidad de corriente comprendida entre 10 y 20 kiloamperios. Aunque con menos frecuencia, se producen también rayos que transfieren carga negativa desde la superficie del suelo a la parte superior de la nube (rayo de polaridad positiva). Sin embargo, estos rayos positivos suelen tener mayor intensidad y por lo tanto, mayores efectos dañinos.

La corriente asociada a las descargas genera energía electromagnética en un amplio espectro del dominio de las radiofrecuencias. Esta energía radiada es la que permite detectar y localizar los rayos, determinando sus características.

Los equipos detectores son ra-

diogoniómetros dotados de una electrónica que les permite discriminar, de entre todas las señales electromagnéticas incidentes, aquellas que son características de las ondas generadas por la descarga del rayo. Cada equipo es capaz de detectar un porcentaje superior al 90% de los rayos que se producen en un círculo de 370 km de radio, centrado en el detector, midiendo además la polaridad de la descarga, su amplitud, el azimut de procedencia y el instante en que se produce.

La red de detección de rayos del Instituto Nacional de Meteorología consta de quince equipos detectores distribuidos geográficamente para obtener una cobertura global y un sistema central encargado del control de la red y el proceso de la información recibida por los detectores, así como del transvase de información a los sistemas de vigilancia operativos en el INM.

Las prestaciones alcanzadas por la red se pueden resumir en una eficacia de detección del 90% de los rayos producidos en la España peninsular, islas Baleares y mares circundantes, y una precisión de 500 metros en su localización.

#### Conclusión

Cada uno de los sistemas indicados con anterioridad, no resuelve individualmente el problema de obtener una adecuada vigilancia de los fenómenos meteorológicos potencialmente peligrosos. Para caracterizar suficientemente la formación, desarrollo y evolución a muy corto plazo de fenómenos tales como tormentas, lluvias torrenciales, vientos violentos, etc., es necesario utilizar una adecuada combinación de las redes y sistemas mencionados, dando lugar a una observación lo más completa posible, que llegue a los Centros de Predicción y Vigilancia en tiempo real para obtener las conclusiones oportunas.

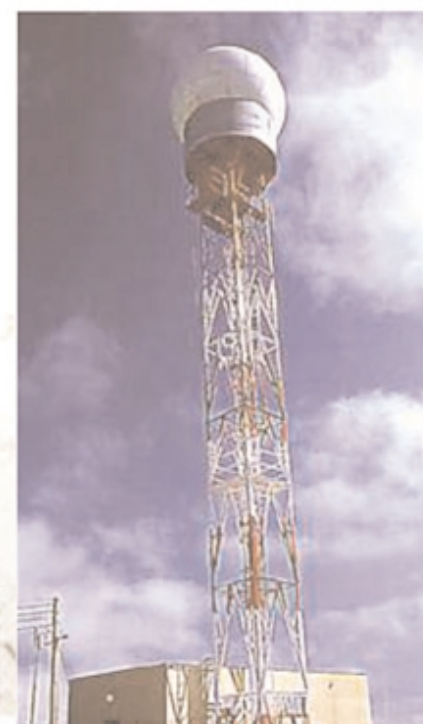


**MCV, S.A. UNA EMPRESA NACIONAL DE  
DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE EQUIPOS  
PARA EL MEDIO AMBIENTE ATMOSFÉRICO**

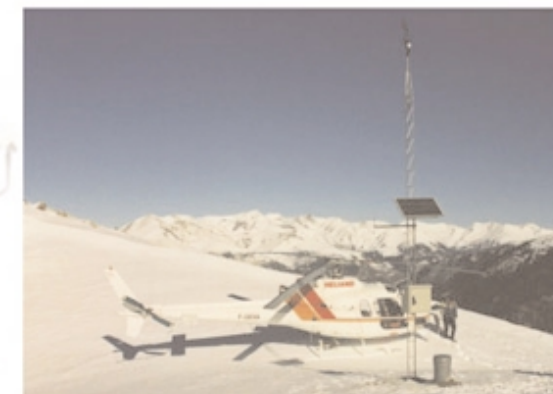
### Instalación, mantenimiento y explotación de equipos, estaciones y redes de medida de contaminación atmosférica y variables meteorológicas.



Red de estaciones EMEP/CAMP. Barcarrota. Ministerio de Medio Ambiente.



Radar meteorológico. Monte Puig Bernat, Vallirana. Generalitat de Catalunya. D.M.A.



Mantenimiento de estaciones meteorológicas remotas. Pirineo, a 3000 m de altura. Sant Julià de Lòria. Andorra.



Red de estaciones meteorológicas. Comunicación por VSAT. Generalitat de Catalunya. D.M.A.



**MCV, S.A.**

Carretera Nacional-II, km. 575  
08293-COLLBATÓ (Barcelona)  
Tel. 93 777 05 00 Fax. 93 777 05 50  
e-mail: cial@mcvsa.com

